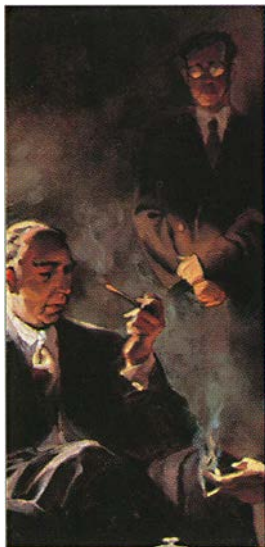


7



CIENCIA Y ESPIONAJE: LA CUESTIÓN ATÓMICA

¿Reveló Bohr secretos nucleares?

Hans A. Bethe, Kurt Gottfried y Roald Z. Sagdeev

Las acusaciones de que Niels Bohr filtró a los soviéticos el proyecto de construcción de la bomba atómica son falsas. La transcripción del encuentro entre Bohr y un agente de Beria muestra que ocultó lo que sabía.

¿Qué le contó Heisenberg a Bohr sobre la bomba atómica?

Jeremy Bernstein

Se cuenta que Niels Bohr presentó en Los Alamos, en 1943, el bosquejo de un proyecto que él creía era un arma atómica, concebida por el físico alemán Werner Heisenberg. ¿Le entregó éste a Bohr un dibujo secretísimo?

22



Estrellas binarias de neutrones

Tsvi Piran

De las parejas de estrellas de neutrones, restos de explosiones de supernovas, emanan fuertes estallidos de rayos gamma. Durante mucho tiempo se negó la existencia de las binarias de neutrones; hoy sabemos que tan sólo en nuestra galaxia hay unas 30.000. La energía gravitatoria de estas estrellas las convierte en banco de pruebas de la teoría de la relatividad general.

44



Los nuevos virus

Bernard Le Guenno

Virus nuevos, patologías a veces fulminantes. Las técnicas de análisis de las que disponen los biólogos, cada vez más eficaces, permiten identificar agentes infecciosos que apenas hace diez años habrían pasado inadvertidos o confundidos con virus próximos conocidos. Entre los más peligrosos para el hombre figuran los de las fiebres hemorrágicas.

52



Moléculas dendrímeras

Donald A. Tomalia

La mayoría de las moléculas poliméricas son un entresijo de cadenas de longitudes variables, entrecruzadas de forma aleatoria. No ocurre así con las moléculas dendrímeras, que poseen gigantescas estructuras regulares. Como pueden controlarse sus propiedades funcionales, se ha pensado en los dendrímeros para su aplicación en medicina clínica y en la industria.

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Juan Pedro Campos: *¿Reveló Bohr secretos nucleares? y ¿Qué le contó Heisenberg a Bohr sobre la bomba atómica?*; Mónica Murphy: *Estrellas binarias de neutrones*; Ana M.^a Rubio: *Los nuevos virus y Conservación del pasado*; Javier de Mendoza: *Moléculas dendrimeras*; J. Vilardell: *Hace...*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*; J. M. García de la Mora: *Ensayo*

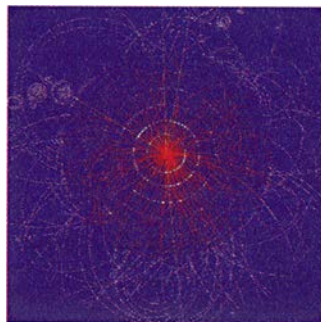
Ciencia y empresa:

Manuel Puigcerver

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Portada: CERN

Página	Fuente
7	Instituto Niels Bohr
8-9	Gregory Manchess
11	Archivo Visual Emilio Segrè
13	Roberto Osti
14	Wide World Photos
17	Paul Ehrenfest, Jr., Archivo Visual Emilio Segrè
18	Laboratorio Nacional de Los Alamos (izquierda); Robert Prochnow (centro)
19	Wide World Photos (izquierda); Archivo Visual Emilio Segrè, cortesía de Ingbert Grütner (centro)
20	UPI/Bettmann (izquierda); Robert Prochnow (centro)
22-23	Al Kamajian
24-25	Al Kamajian (abajo); George Retseck (arriba)
26-27	George Retseck (arriba); Laurie Grace (abajo)
28	George Retseck
29	John Long
45	Pierre Gounon, Instituto Pasteur, París
46	Doc. PLS (arriba); P. Gounon, Instituto Pasteur, París (abajo)
47	Documentos PLS
48	P. Horber
49	Doc. PLS (izquierda); M. Artois CNEVA (derecha)
50	Documentos PLS
51	M. A. Camprasse, Instituto Pasteur, París
52	Petar Dvornic y Scrinivas Uppuluri, Instituto Molecular de Michigan
53	Bruce Eichinger, Tecnologías Biosym
54	Laurie Grace
55	Dale J. Meier y Yuelin Zou, Instituto Molecular de Michigan
56	Tomo Narashima
59	CERN (arriba y abajo); DESY (derecha)
60-61	CERN
62	Ian Worpole
64-71	J. M. Fernández de Labastida
72-73	Stephen Ferry, Gamma Liaison
74-75	Dusan Stulik, Instituto de Conservación Getty
76	Instituto de Conservación Getty (izquierda) Infobyte; Instituto de Conservación Getty (abajo)
77	Hedda Morrison, cortesía del Instituto de Conservación Getty (izquierda); Margaret G. H. Mac Lean, Instituto de Conservación Getty (derecha)
78	Stephen Ferry, Gamma Liaison (arriba); Laboratorio de Propulsión a Chorro/NASA (abajo)
86	Dianne Gaspar ETTL



La detección del bosón de Higgs puede parecerse a esta simulación por ordenador. El choque entre protones puede producir un Higgs que se desintegra en cuatro muones (líneas amarillas). Se producirán también partículas residuales (rojo). En seis capas cilíndricas (líneas blancas) de microcintas de silicio se registrará el lugar en que las partículas cargadas atraviesan las capas detectoras. Estas posiciones, combinadas con las obtenidas de un sistema (puntos blancos), permitirán reconstruir las trayectorias.

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén

EDICIONES José María Valderas, *director*

ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*

PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón

Bernat Peso Infante

Carmen Lebrón Pérez

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez

EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a - 08021 Barcelona (ESPAÑA)

Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie

BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Marguerite Holloway, *News Editor*;

Ricki L. Rusting, *Associate Editor*; Timothy M. Beardsley; W. Wayt Gibbs;

John Horgan, *Senior Writer*; Kriswin Leutwyler; Philip Morrison, *Book Editor*;

Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; Corey S. Powell; David A. Schneider;

Gary Stix; Paul Wallich; Philip M. Yam; Glenn Zorpette

PRODUCTION Richard Sasso

CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley

CO-CHAIRMAN Dr. Pierre Gerckens

DIRECTOR, ELECTRONIC PUBLISHING Martin Paul

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.^a

08021 Barcelona (España)

Teléfono (93) 414 33 44

Fax (93) 414 54 13

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	7.700	14.000
Extranjero	8.600	15.800

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 700 pesetas

Extraordinario: 900 pesetas

— Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

— En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

— El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA

Carretera de Irún, km. 13,350

(Variante de Fuencarral)

28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.^a - 08021 Barcelona

Teléfono (93) 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad

Francisca Martínez Soriano

Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.

28009 Madrid

Tel. (91) 409 70 45 - Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:

Miguel Munill

Muntaner, 339 pral. 1.^a

08021 Barcelona

Tel. (93) 321 21 14

Fax (93) 414 54 13



Copyright © 1995 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 1995 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 - 76

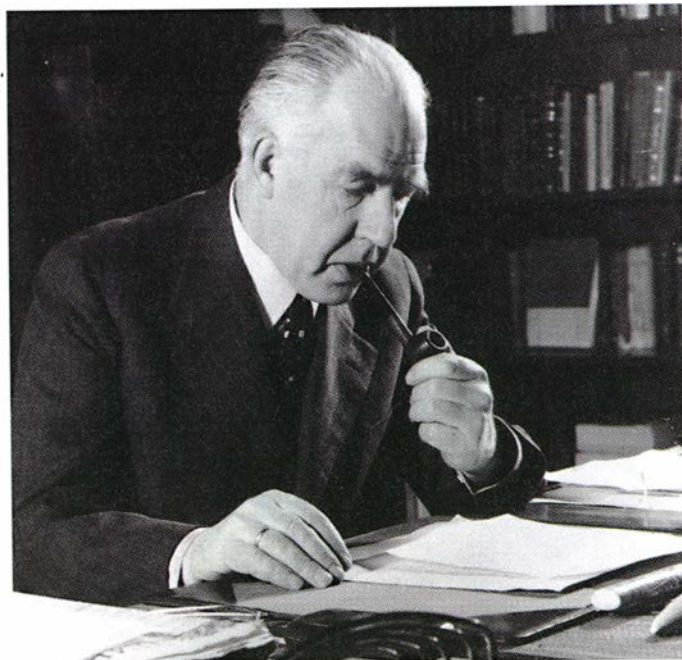
Fotocomposición: Tecfa. Línea Fotocomposición, S.A., Avila, 112-114 4.^a pl. - 08018 Barcelona

Fotomicros reproducidos por Scan V2, S.A., Avda. Carrilet, 237 - 08907 l'Hospitalet (Barcelona)

Imprenta Rotocayfo, S.A., Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

La cuestión atómica



Bohr, 1935

No se asocia el escándalo al nombre de Niels Bohr; sí genio y carácter. Ganador del premio Nobel, introductor de la mecánica cuántica en la explicación de la naturaleza del átomo, fue un titán de la ciencia del siglo XX. Se opuso a la ocupación nazi de su Dinamarca natal; refugiado en los Estados Unidos, participó en el proyecto Manhattan, que daría a esa nación el poder nuclear. Pero Bohr fue también un notorio abogado de la cooperación internacional, y encareció a Franklin D. Roosevelt y Winston Churchill que, en pro de la paz mundial, permitiesen que otros países conocieran los entresijos de la bomba atómica.

Movido por esas convicciones, ¿no fue Bohr demasiado lejos? El año pasado, fuentes que parecían bien acreditadas hicieron público que Bohr pasó a la Unión Soviética información reservada del programa estadounidense para la fabricación de la bomba. Las sospechas se centran en un encuentro entre Bohr y la policía secreta de Beria que tuvo lugar en 1945.

Estas suspicacias carecen de fundamento, como deja claro el primero de los artículos

que siguen. Los autores, físicos de renombre por derecho propio, repasan las circunstancias que condujeron al encuentro y muestran que Bohr no intentó ocultarlo a las autoridades. Además, basándose en un memorándum destinado a Stalin que incluye una transcripción de la conversación, sostienen que Bohr se expresó de forma deliberadamente vaga acerca de lo que sabía. La autoridad académica de los autores disipa las nubes que nunca debieron posarse sobre la figura intachable de Bohr.

Se aborda luego un episodio de la vida del danés no menos apasionante: ¿facilitó a los aliados el programa alemán de armas nucleares? El autor de este segundo artículo, un físico convertido en detective, sigue una pista de hace cincuenta años para descubrir si Bohr recibió el dibujo de un dispositivo nuclear de manos de Werner Heisenberg. La trama retrata una época no tan lejana en la que el equilibrio del poder y los misterios del espionaje pendían sobre el trabajo de todo físico que estudiara los secretos del átomo.

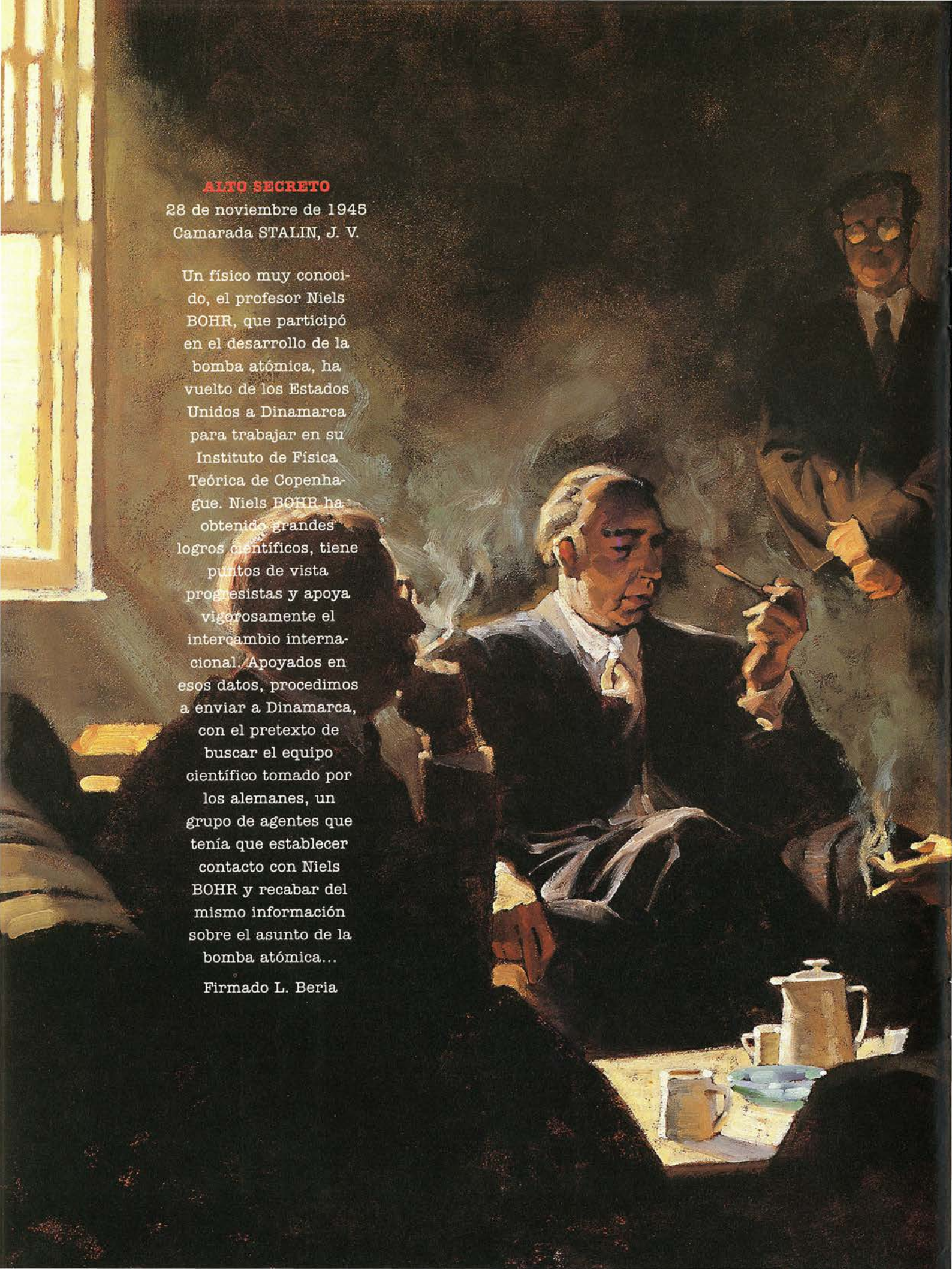
La redacción

ALTO SECRETO

28 de noviembre de 1945
Camarada STALIN, J. V.

Un físico muy conocido, el profesor Niels BOHR, que participó en el desarrollo de la bomba atómica, ha vuelto de los Estados Unidos a Dinamarca para trabajar en su Instituto de Física Teórica de Copenhague. Niels BOHR ha obtenido grandes logros científicos, tiene puntos de vista progresistas y apoya vigorosamente el intercambio internacional. Apoyados en esos datos, procedimos a enviar a Dinamarca, con el pretexto de buscar el equipo científico tomado por los alemanes, un grupo de agentes que tenía que establecer contacto con Niels BOHR y recabar del mismo información sobre el asunto de la bomba atómica...

Firmado L. Beria





¿Reveló Bohr secretos nucleares?

Niels Bohr se encontró con un agente soviético a finales de 1945. Algunos le acusan de haber divulgado secretos nucleares

Hans A. Bethe, Kurt Gottfried y Roald Z. Sagdeev

“La información más vital para el desarrollo de la primera bomba atómica soviética procedió de algunos de los científicos que proyectaron la bomba atómica en Los Alamos. ... Aceptaron compartir información sobre armas nucleares con los soviéticos. ...”

Esta acusación sensacionalista aparece en el libro *Special Tasks*, publicado en 1994. Culpa a Bohr y a otros científicos del proyecto Manhattan de haber proporcionado al espionaje soviético informaciones confidenciales sobre el programa estadounidense sobre fabricación de la bomba atómica. El libro, basado en los recuerdos de Pavel Sudoplatov, gerifalte de la policía secreta de Stalin, no aporta prueba alguna de tan grave cargo. Pero la sombra de la duda se ha hecho cada vez más densa.

También acaba de salir a la luz —sacado de los archivos del KGB— un memorándum dirigido a Stalin donde se narra la “conexión Bohr”. El documento contiene una descripción, se supone que literal, del mismísimo encuentro de noviembre de 1945 en el que Bohr pasaría a los soviéticos informaciones reservadas. Tras revisar con lupa el documento, hemos encontrado pruebas de que las acusaciones contra Bohr son falsas.

Para entender la polémica y nuestro análisis del memorándum conviene recordar el desarrollo de la física nuclear antes de la guerra y los esfuerzos que durante el conflicto se invirtieron en aplicar la ciencia a la maquinaria bélica. A principios de siglo se había descubierto que el átomo consta de un núcleo, que contiene los protones y cuya carga es positiva, y de los electrones que giran a su alrededor. Se sabía también que, dentro del núcleo, la energía supera millones de veces la liberada en las explosiones químicas. No se avanzó gran trecho en la estructura del núcleo hasta que en 1932 James Chadwick, de la Universidad de Cambridge, descubrió el neutrón. Sus trabajos demostraron que el núcleo se compone de protones y neutrones.

El neutrón se convirtió enseguida en una sonda para desentrañar las propiedades del núcleo. Al carecer los neutrones de carga eléctrica, el núcleo, dotado de carga positiva, no los repele; pueden así entrar con facilidad en los núcleos de muchos elementos, proceso que recibe el nombre de “captura de neutrones”. Se estudiaron numerosas reacciones nucleares en las que intervenía la captura de neutrones, pero ninguna producía cambios llamativos en el núcleo.

En diciembre de 1938 Otto Hahn y Fritz Strassmann, del Instituto Kaiser Wilhelm de Berlín, observaron en el uranio, el elemento más pesado que por entonces se conocía, una reacción asombrosa. Les sorprendió que entre los productos del bombardeo del uranio con neutrones estuviese el bario, un elemento bastante ligero. Otto Frisch y Lise Meitner, dos huidos de la Alemania nazi, interpretaron que la observación de Hahn y Strassmann indicaba que el núcleo de uranio se dividía en dos núcleos de tamaño parecido.

1. ENCUENTRO ENTRE NIELS BOHR y Iakov Terletskii (a la derecha), en una recreación artística. La visita tuvo lugar en noviembre de 1945 en el despacho de Bohr en Copenhague. Terletskii acudió con un intérprete (izquierda); a Bohr (centro) le acompañaban dos de sus hijos, Ernest (derecha), que hizo guardia en otro cuarto con una pistola cargada, y Aage (de pie), que permaneció en la habitación. Un memorándum dirigido a Stalin (del que se traduce un fragmento a la izquierda) incluía una transcripción de la conversación entre Bohr y Terletskii.

Una conversación en Copenhague

Los siguientes extractos de la conversación entre Terletskii y Bohr están sacados de una traducción de la transcripción que se le entregó a Stalin en 1945.

TERLETSKII: ¿Qué método práctico hay para obtener uranio 235 en grandes cantidades, y qué método se considera que es el más prometedor (por difusión, magnético u otro)?

BOHR: Los científicos de todos los países conocen bien la teoría de la obtención de uranio 235; se desarrolló antes de la guerra y no presenta secretos. La guerra no ha añadido prácticamente nada nuevo. Hay que señalar, sin embargo, que el problema del reactor de uranio y el del plutonio que sale de él se resolvieron ambos durante la guerra, si

bien los principios tampoco eran nuevos. Tan sólo se llevaron a la práctica. El principal avance se refiere a la separación del uranio 235 de la mezcla natural de isótopos. Una vez se obtiene la cantidad requerida de uranio 235, no se alza dificultad teórica alguna en el camino hacia la bomba. La separación del uranio 235 se logra mediante el método de difusión, que es bien conocido, y también mediante la espectroscopía de masas. No se ha usado ningún método nuevo. El éxito norteamericano se debe a la realización práctica de diseños bien conocidos a una escala increíblemente grande. Debería advertirle que, mientras estuve en los Estados Unidos, no participé en el desarrollo técnico del proyecto, y por tanto no me son familiares las características de los diseños o el tamaño de los aparatos, ni siquiera parte alguna de ellos...

Frisch y Meitner le dieron al proceso el nombre de "fisión". Razonaban que la repulsión eléctrica entre los muchos protones que hay en los núcleos más pesados les hacía a éstos casi inestables; por tanto, la captura de otro neutrón podría causar que se partiesen. Calcularon también que, si el uranio se escindía en dos, se liberaría muchísima más energía que en todas las reacciones nucleares observadas hasta ese momento.

En la pequeña comunidad internacional de los físicos nucleares prendió una actividad frenética. Al principio les movía la curiosidad científica, y todos los resultados nuevos se publicaron sin trabas. Pero dos descubrimientos de principios de 1939 iban a ser de capital importancia en los programas militares que se emprenderían tras la invasión de Polonia por Adolf Hitler en septiembre del mismo año.

Durante una corta estancia en la Universidad de Princeton, en el invierno de 1939, Bohr conjeturó que sólo una minúscula fracción de los núcleos del mineral de uranio experimentaba la fisión observada. El segundo descubrimiento crucial, hecho por dos grupos independientemente, fue que el núcleo de uranio emitía varios neutrones durante el proceso de fisión. Estos neutrones secundarios podían, pues, inducir la fisión de otros núcleos e iniciar así una reacción en cadena.

Con el físico norteamericano John

Wheeler, Bohr elaboró una teoría minuciosa de la fisión gracias a la cual ambos pudieron predecir si el núcleo de un elemento dado sufriría o no la fisión tras la captura de un neutrón. Ponderaron también la probabilidad de que los núcleos padeciesen la fisión "espontáneamente", es decir, sin que les desestabilizase primero un neutrón capturado.

Con su nueva teoría, Bohr y Wheeler reforzaron la idea del primero según la cual sólo una pequeña fracción de los núcleos del uranio natural experimentaba la fisión inducida por neutrones. Mostraron, en concreto, que esos núcleos eran de un tipo raro, el uranio 235. Como le pasa a la mayoría de los elementos, hay varias formas de uranio, o isótopos, que difieren entre sí por el número de neutrones de sus núcleos. Por ejemplo, el uranio 235, que constituye el 0,7 por ciento del mineral de uranio natural, tiene 143 neutrones y 92 protones; el número de masa 235 es la suma del número de neutrones y el de protones. El isótopo más abundante, el uranio 238, tiene 146 neutrones además de los 92 protones.

Varios experimentos confirmaron pronto la predicción de Bohr de que sólo el uranio 235 sufría la fisión inducida por neutrones. De este hallazgo se seguía que las técnicas que se basaran en la fisión del uranio requerirían seguramente el aislamiento del uranio 235. Pero la consecución de ese aislamiento sería sumamente difícil. La manera en que un átomo

se comporta en cualquier proceso químico queda determinada por la carga eléctrica del núcleo y no depende, pues, del número de neutrones. Por tanto, no se podía separar en el mineral el uranio 235 del 238 mediante un proceso químico, fuese el que fuese. La separación tendría que descansar sólo en la muy pequeña diferencia de peso (un uno por ciento) entre el isótopo raro y los abundantes. No se conocía por entonces ningún método de separación a gran escala que fuese, ni remotamente, costeable.

Esta dificultad engendró en un principio un gran escepticismo acerca de que la fisión nuclear pudiera tener aplicaciones prácticas. Muchos físicos, de todas las grandes naciones que pronto estarían en guerra, entendían que la reacción en cadena en el uranio podría desarrollar dos funciones, distintas aunque estrechamente relacionadas, de profundo alcance. En primer lugar, una reacción en cadena autoabastecida haría posibles las centrales de energía nuclear. En segundo lugar, si la reacción en cadena se multiplicaba indefinidamente, generaría una explosión descomunal. Pero como la posibilidad de aislar el suficiente uranio 235 para hacer una bomba parecía utópica, casi nadie creía que se pudiese fabricar un dispositivo así en un futuro previsible, y mucho menos aún que pudiera influir en el resultado de la guerra.

A pesar de lo improbable que parecía, el miedo a que Alemania —que tan destacado papel había desempeñado en la física moderna— produjese armas nucleares hizo que los físicos de Gran Bretaña y Estados Unidos abogasen por la investigación de los usos militares de la fisión. El programa norteamericano de armas nucleares empezó modestamente en 1940 con una subvención gubernamental de 6000 dólares con-

HANS A. BETHE, KURT GOTTFRIED y ROALD Z. SAGDEEV comparten una misma preocupación por las consecuencias políticas de las armas nucleares. Bethe, hoy profesor emérito de la Universidad de Cornell, dirigió la división de física teórica del laboratorio de Los Alamos durante la segunda guerra mundial. En 1967 ganó el premio Nobel. Gottfried enseña física nuclear en Cornell. Sagdeev, docente ahora en la Universidad de Maryland, ha sido asesor de Mikhail S. Gorbachov y director del Instituto de Investigaciones Espaciales Soviético.

Comentario de los autores: Si ésta fue de verdad la respuesta emitida por Niels Bohr, echó mano de una arrogancia intelectual que no era habitual en él para no tener que dar una contestación más sustanciosa. Los métodos de separación que menciona sólo podían aislar cantidades minúsculas de isótopos específicos, no kilogramos. Muchos creyeron (especialmente Bohr) que este problema suponía un obstáculo insuperable para la construcción de bombas atómicas. Fueron necesarias innovaciones ingeniosas para que la separación de isótopos a gran escala fuese factible. La respuesta de Bohr viene a ser como si se le hubiese preguntado a Isaac Newton cómo podría ponerse a una persona en la Luna y el físico inglés hubiera respondido que, aparte de algunos detalles técnicos, todo lo que hacía falta estaba en los *Principia*.

T: ¿Cuál es el número de fisiones espontáneas por uni-

dad de tiempo para todas las sustancias antes mencionadas [uranio 235, uranio 238, plutonio 239, plutonio 240]?

B: La fisión espontánea es bastante insignificante y no debería tenérsela en cuenta en los cálculos. La vida media de la fisión espontánea es de unos 7000 años. No puedo darle una cifra más precisa, pero entenderá usted que con este valor de la vida media de la fisión espontánea no cabe esperar que afecte al proceso significativamente.

Comentario de los autores: Esta pregunta viene tras una serie de otras sobre los reactores y antes de una relativa al número de neutrones que se liberan en la fisión, que es importante tanto para los reactores como para las bombas. Por consiguiente, no está claro si la pregunta se refiere a aquéllos o a éstas. La respuesta de Bohr es correcta si se refiere al diseño de reactores, pero no para el diseño de

cedida a Enrico Fermi y otros científicos, muchos de ellos refugiados de Europa. Fermi había abandonado su Italia natal para instalarse en la Universidad de Columbia en enero de 1939. Su primer proyecto fue generar una reacción en cadena autoabastecida en el uranio natural, a pesar de que contenía muy poco uranio 235 fisionable; Fermi acabaría por conseguirlo en Chicago, en diciembre de 1942.

Pero ya antes físicos de Alemania, la Unión Soviética y Estados Unidos habían reparado en otro camino para llegar a la fabricación de bombas nucleares. Habían predicho, cada cual por su lado y en secreto, que la captura de un neutrón por el isótopo abundante, el uranio 238, podía hacer que éste se transformase en un elemento nuevo —al que ahora se llama plutonio—, que experimentaría la fisión inducida por neutrones con la misma facilidad que su isótopo raro, el uranio 235. Al ser un elemento distinto, cabe separar por medios químicos el plutonio del uranio en el que se ha producido, con lo que se evita el tortuoso problema de la separación de los isótopos. Resultó, además, que el reactor de uranio de Fermi también hacía plutonio. Este reactor se convirtió en el prototipo de la planta de producción del plutonio que se construiría en Hanford, Washington.

Volvamos a 1940. Mientras las investigaciones nucleares norteamericanas se concentraban aún en si se podría lograr un reactor nuclear operativo, las británicas desempeñaron un papel decisivo en la demostración de que el arma nuclear era un objetivo alcanzable. En marzo, Frisch y otro refugiado alemán, Rudolf Peierls, trabajando clandestinamente y sin el apoyo del gobierno en la Universidad de Birmingham, calcularon la canti-

dad mínima de uranio 235 puro que conduciría a una reacción en cadena explosiva. Llegaron al sorprendente resultado de que esa “masa crítica” era de sólo varios kilogramos.

Un memorándum hizo saber al gabinete de Winston Churchill sus cálculos y prometedoras ideas sobre la separación isotópica. El gabinete decidió impulsar las investigaciones encaminadas a la obtención de la bomba nuclear. La postura británica contribuyó a que el presidente Franklin D. Roosevelt se convenciese en 1942 de que debía crear el proyecto Manhattan. El esfuerzo estadounidense por desarrollar armas nucleares emplearía pronto a miles de personas en el laboratorio de ingeniería y construcción de armamento de Los Alamos, Nuevo México, así como en muchas otras instalaciones dispersas por la nación.

No queriendo dejar ninguna tecla sin tocar, los Estados Unidos siguieron la bomba, la ruta del plutonio y la del uranio. La primera concepción de la bomba que se consideró en el laboratorio de Los Alamos —el diseño de pistola— consistía en disparar dos masas subcríticas de uranio la una contra la otra para que se formase súbitamente una masa crítica. En la bomba que destruyó Hiroshima, el 6 de agosto de 1945, que se

atenía a ese diseño, se empleó uranio 235 casi puro, separado del mineral con un coste inmenso.

Método que, sin embargo, no funcionaría con el plutonio. Cuando llegó a Los Alamos la primera muestra de ese material, se produjo una gran sorpresa. Se vio que mostraba una tendencia apreciable a fisionarse espontáneamente. Si se reunía la masa crítica mediante el diseño de pistola, los neutrones emitidos durante la fi-



2. SE CREE QUE LOS FISICOS Peter L. Kapitsa (*arriba*) y Lev D. Landau (*abajo*), amigos de Bohr, podrían haber sido la razón de que el danés hablase con los soviéticos. Antes de la guerra, Landau estuvo en prisión y a Kapitsa no se le había permitido volver a Inglaterra tras una visita a su familia. Parece que Bohr esperaba que el encuentro le diese la oportunidad de transmitir su apoyo a los dos científicos y la preocupación que sentía por ellos.

bombas. Como se explica detenidamente en el texto, para la bomba de plutonio era vital que se tuviera en cuenta la fisión espontánea, ya que requería un diseño completamente original.

T: ¿Con qué material se hicieron las bombas atómicas?

B: No sé con exactitud qué material se empleó en las bombas que se lanzaron sobre el Japón. No creo que haya un físico teórico que responda esa pregunta. Sólo los militares lo saben. Como científico, puedo decir que se hicieron bien con plutonio, bien con uranio 235.

Comentario de los autores: Muchos científicos con responsabilidades en Los Alamos (Bethe, por ejemplo) sabían qué materiales se empleaban, pero no ignoramos si ése era el caso de Bohr.

T: ¿Se usa la materia superdensa antes de la explosión de la bomba o bajo el impacto de la explosión?

B: No hay necesidad de eso. La cuestión es que las partículas de uranio se mueven durante la explosión a velocidades iguales a la de los neutrones. Si no fuese así, la bomba se desintegraría con una pequeña explosión sólo. Pero con una explosión, debida a la velocidad igual, el proceso de la fisión del uranio continúa después incluso de la explosión.

Comentario de los autores: La pregunta es confusa. Cabe suponer que se quería saber si la alta densidad del material fisible producido por la explosión química inicial era capaz de incrementar la reacción en cadena, y una contestación al respecto habría sido muy valiosa. Lo que se transcribe que Bohr dijo nos es incomprendible, y a los soviéticos tuvo que pasarles lo mismo.

sión espontánea iniciarían una reacción en cadena y se liberaría una cantidad de calor enorme, que desactivaría el dispositivo y dejaría sólo que se produjese una explosión pequeña.

Para detonar la bomba de plutonio se concibió un montaje radicalmente nuevo, mucho más difícil: el diseño de implosión. En esta técnica se usaba una esfera subcrítica de plutonio rodeada por explosivos ordinarios. Una explosión química comprimía el plutonio hasta una densidad mucho mayor que la que tiene en un ambiente normal. En virtud de esa gran densidad, la reacción en cadena progresaba muy deprisa. La compresión era tan rápida, que la fisión espontánea del plutonio no tenía tiempo para desactivar el dispositivo. El diseño de implosión se utilizó contra Nagasaki el 9 de agosto de 1945.

Dos días después de este segundo bombardeo, el gobierno de los Estados Unidos hizo público su informe oficial sobre el proyecto Manhattan. Escrito por Henry DeWolf Smyth, profesor de Princeton, el libro divulgó una gran cantidad de información, pero sirvió también a un importante propósito de seguridad. En el proyecto habían participado miles de personas, así que era fundamental que hubiera una definición inequívoca sobre lo que pertenecía al ámbito de los secretos militares y lo que estaba exento de esa salvaguarda. A este respecto, escribía tajante el general de división Leslie R. Groves, comandante militar del proyecto Manhattan, en el prefacio del documento: "No deben hacerse peticiones de información adicional."

Ni que decir tiene que los soviéticos se interesaron también por las armas nucleares durante la guerra. Gracias al libro de David Holloway *Stalin and the Bomb*, la interrelación entre la ciencia, el espionaje y la

política que marcó este intento se ha conocido ahora en Occidente.

Desde mediados de los años treinta, un grupo de jóvenes investigadores del Instituto Politécnico de Leningrado, dirigido por Igor V. Kurchatov, se había inclinado por las cuestiones subatómicas. Así, Georgii N. Flerov, alumno de Kurchatov, fue el primero en confirmar la predicción de Bohr y Wheeler sobre la fisión espontánea del uranio, resultado que publicó en julio de 1940 en la norteamericana *Physical Review*.

Los teóricos soviéticos se contaban entre la avanzadilla mundial. En el Instituto de Química Física de Leningrado, Iulii B. Khariton y Iakov B. Zel'dovich (quien, con Andrei Sakharov, dirigiría el programa soviético de la bomba de hidrógeno durante la posguerra) efectuaron y publicaron estudios pioneros de la reacción de fisión en cadena en el uranio natural. En 1941, una vez se hubo impuesto el secreto, Khariton y Zel'dovich, como Frisch y Peierls antes que ellos, calcularon correctamente la masa crítica del uranio 235. (Sorprententemente, los físicos alemanes nunca efectuaron este cálculo durante la guerra, a pesar de que la reputación de la ciencia alemana convenció a Churchill y a Roosevelt de que debían perseguir la construcción de la bomba a cualquier costo.)

Los físicos soviéticos llamaron la atención de su gobierno sobre el potencial militar de la fisión. Pero la URSS tuvo que enfrentarse a la invasión de Hitler en junio de 1941, y no pudo dedicar grandes recursos al incierto objetivo de conseguir la bomba atómica hasta que Alemania no fue derrotada.

El espionaje soviético fue, sin embargo, todo un éxito. En septiembre de 1941, agentes soviéticos se hicie-

ron en Londres con un informe del gabinete británico basado en el memorándum de Frisch y Peierls; se lo facilitó, al parecer, un alto funcionario británico. El valor de esta información era incalculable, ya que además revelaba que el gabinete estaba decidido a colaborar con los Estados Unidos en las investigaciones sobre la bomba. Pocos meses después, Klaus Fuchs, físico comunista que había huido de la Alemania nazi y refugiado en Inglaterra, donde trabajaba con Peierls, se convirtió en la fuente primordial de los soviéticos. Fuchs les enviaba un informe técnico tras otro, primero desde Inglaterra y luego desde los Estados Unidos, cuando estuvo integrado en el equipo británico que participaba en el proyecto Manhattan. Entre esos documentos que remitía por afinidades políticas había explicaciones sobre la separación isotópica y los reactores nucleares. Aún más importante fue el que en junio de 1945 llegasen a manos soviéticas especificaciones detalladas de la bomba de implosión que luego se usaría en Nagasaki.

Por tanto, cuando el presidente Harry S. Truman, dos semanas antes del bombardeo de Hiroshima, le hizo a Stalin su famosa, velada alusión, "tenemos un arma nueva de una fuerza destructiva desconocida", se equivocó al suponer que Stalin no la entendió. Muy al contrario, Stalin ordenó rápidamente que se acelerasen los planes soviéticos de construcción de armas nucleares. Además, encargó la supervisión del proyecto a Lavrentii P. Beria, el célebre jefe de la policía secreta.

Beria infundía miedo a cuantos caían bajo su influencia. No se fiaba de nadie, ni de los físicos ni de los espías. Kurchatov, que dirigía las investigaciones científicas del programa desde el principio, era el único

experto que estaba enterado del espionaje nuclear. En 1945, sin embargo, Beria creó un pequeño grupo de científicos para que compilasen los ficheros del espionaje, que no paraban de crecer. Lo dirigió Iakov Terletskii, un joven físico de talla mucho menor que el equipo de Kurchatov, pero a quien Beria podía controlar a su antojo.

En noviembre de 1945 Terletskii, mandado por Beria, acudió a Copenhague con el fin de entrevistarse con Bohr, quien acababa de volver a su país tras haber tomado parte en el proyecto Manhattan. Según el memorándum remitido a Stalin, Beria planeó la misión con la esperanza de que Bohr, conocido abogado de la solidaridad internacional, diría algo de interés acerca de la investigación nuclear occidental. Indudablemente, Beria también creía que, si Bohr divulgaba algún secreto, de intento o sin querer, esa información serviría para verificar otras obtenidas por el espionaje y la investigación soviéticos; amén, quizá, de hacer a Bohr vulnerable al chantaje.

El 2 de noviembre, un miembro comunista del parlamento danés le pidió a Bohr que recibiera en secreto a Terletskii, portador de una carta de su viejo amigo Peter L. Kapitsa. Se trataba del físico experimental ruso más sobresaliente de su generación, a quien el gobierno soviético retenía, de hecho, cautivo.

Según Aage Bohr, premio Nobel e hijo de Niels, que también trabajó en Los Alamos y enseña hoy en la Universidad de Copenhague, su padre se quedó helado. Respondió que la cita constituía "un lamentable error", y le insistió al parlamentario danés que toda conversación tendría que ser abierta y que sólo hablaría de la información que estuviese disponible públicamente. Bohr notificó lo sucedido a las autoridades occidentales, y los británicos informaron a Groves del sospechoso contacto antes de que tuviese lugar el encuentro. Las autoridades expresaron su preocupación de que pudiera estar en marcha un intento de secuestrar a Bohr.

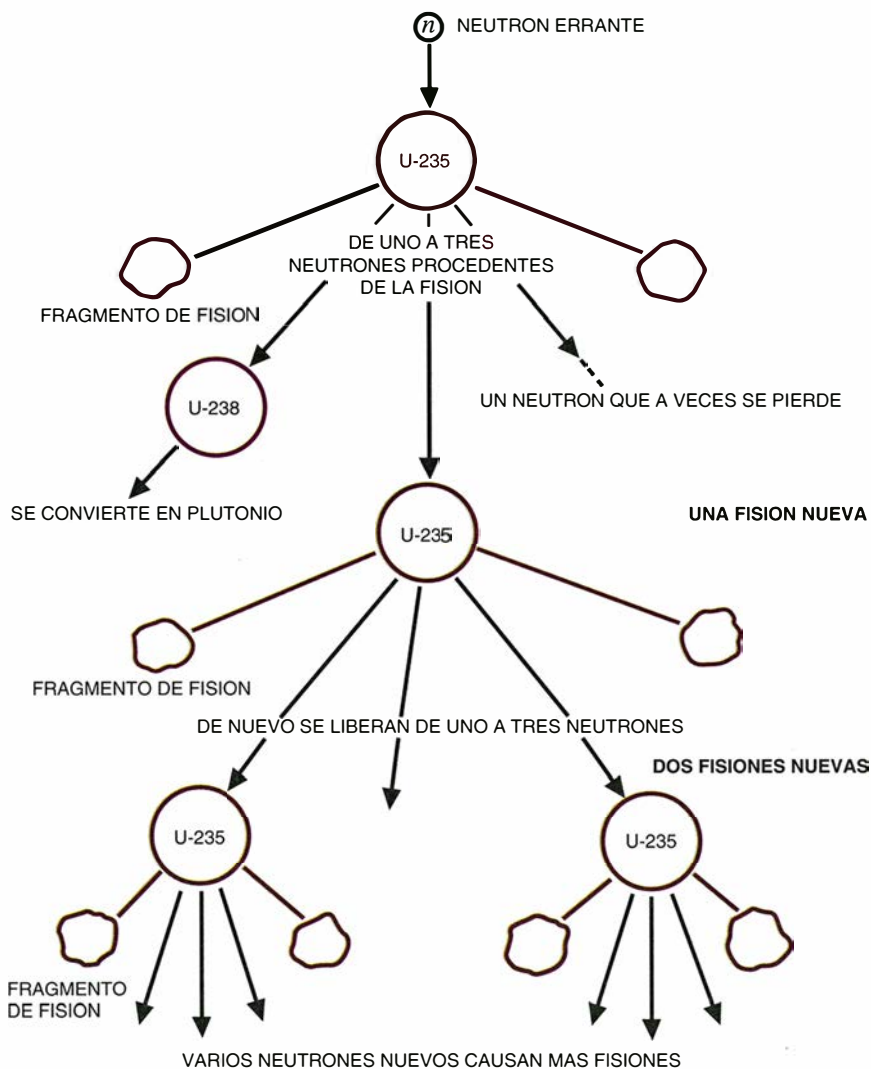
Con todo, el encuentro se celebró el 14 de noviembre. El gobierno danés se ocupó de proteger a Bohr. Otro hijo de éste, Ernest, que entonces tenía 21 años, permanecía en una estancia contigua, armado con una pistola. Las autoridades occidentales debían de sentir, seguramente, curiosidad por saber qué cosas preguntaría el agente soviético. Unos documentos del gabinete británico, a los que acaba de levantarse el secreto,

demuestran que Bohr se mantuvo en contacto con la embajada británica las semanas anteriores a las conversaciones. Un cable enviado al máximo responsable del ministerio de asuntos exteriores británico comunicaba que Bohr estuvo un largo tiempo en la embajada el mismo día que se encontró por vez primera con Terletskii.

Hay dos relatos de esta cita entre Bohr y Terletskii, independientes el uno del otro, ambos de testigos presenciales, y concuerdan apreciablemente. Las memorias de Terletskii aparecieron en Rusia poco después de su muerte en 1993. Aage Bohr, que tenía 23 años por entonces, per-

maneció en la sala durante toda la reunión, por insistencia de su padre; recuerda con claridad qué ocurrió.

No se entendieron bien las dos partes. El traductor era un experto soviético en comercio internacional que no sabía física. Como pueden testificar dos de los autores (Bethe y Gottfried), Bohr tendía a bajar la voz, ya de por sí suave, cuando recalaba un punto crucial, y costaba entenderle en inglés o alemán, aun cuando uno conociese bien el tema, lo que no era el caso de Terletskii. En sus memorias, éste reconoce que sólo comprendió muy por encima lo que Bohr decía, y que no se tomaron notas hasta que él y el intérprete no



3. LA REACCION EN CADENA que pone en marcha la fisión de un átomo de uranio en un reactor hecho de uranio mineral se describe en el informe Smyth, la publicación del proyecto Manhattan que editó el gobierno estadounidense. Como se muestra en esta ilustración, adaptación de una del documento, un neutrón errante (*arriba*) —procedente de la fisión de un núcleo de uranio 235 que no se representa— es capturado por otro núcleo de uranio 235, que se rompe en dos fragmentos y varios neutrones. Algunos de éstos son, a su vez, capturados por otros núcleos de uranio 235, que experimentan entonces la fisión (*centro*) y liberan neutrones que inducen nuevas reacciones de fisión (*abajo*). Si, en vez de eso, el uranio 238 absorbe los neutrones, se transforma en plutonio (*izquierda*). Cuando Bohr le dio el informe Smyth a Terletskii, los soviéticos habían acabado ya casi su traducción.

hubieron intentado reconstruir la conversación más tarde.

Según los dos relatos, Bohr se pasó buena parte de la cita hablando largo y tendido de Kapitsa y Lev D. Landau. Kapitsa había trabajado en Cambridge con Ernest Rutherford hasta 1934, año en que visitó a su familia en la URSS y Stalin ya no le dejó salir. Landau, teórico brillante, había trabajado durante algún tiempo en el Instituto de Física Teórica de Bohr, en Copenhague; antes de la guerra pasó un año en la cárcel condenado por Stalin. Bohr quería que su intercesión por ambos llegase a la cúspide del gobierno soviético a través del emisario de éste, Terletskii.

Terletskii cuenta además que, para gran desaliento suyo, al llegar por fin la ocasión de preguntar lo que le interesaba saber, Aage seguía allí todavía. Aage lo confirma, y recuerda "a un Terletskii algo desesperado que, tras una larga conversación sobre Kapitsa... estaba ansioso por presentar una serie de preguntas. Se hicieron deprisa y por medio del intérprete, y no pudimos entender con todo detalle su contenido".

En una segunda y breve visita, Bohr le dio a Terletskii el informe Smyth. Por entonces ya se habían vendido 100.000 ejemplares del mismo, y la traducción del gobierno soviético estaba casi concluida.

Cuando Beria entregó a Stalin el memorándum sobre la misión de Terletskii, añadió una transcripción supuestamente literal de las preguntas de Terletskii y las respuestas de Bohr. Analizaremos ahora el contenido de este documento y dejaremos para más adelante si hay que tomárselo al pie de la letra.

Más de la mitad de las 22 preguntas de Terletskii (que habían sido preparadas por el equipo de Kurchatov) se referían a los reactores nucleares y a las técnicas de separación de isótopos, y varias a la fisión propiamente dicha y a los mecanismos detonadores de la bomba. Una de las cuestiones preguntaba por la posibilidad de que hubiera una defensa contra las armas nucleares.

La transcripción confirma las memorias de Terletskii, según las cuales "las respuestas [de Bohr] fueron muy generales. Cada vez decía que en Los Alamos no le habían contado los detalles ... [y] que nunca había visitado los laboratorios de la costa Este", donde se encontraban las instalaciones para la separación de isótopos



4. ESTA EXPLOSION nuclear se produjo durante los experimentos realizados por los Estados Unidos en julio de 1946. La Unión Soviética probó por vez primera un arma nuclear en agosto de 1949.

del proyecto Manhattan. Lo cierto es que las respuestas de Bohr sobre los reactores nucleares y las técnicas de separación isotópica sólo daban una información que se conocía ya desde antes de la guerra, incluso en los casos en que el informe Smyth trataba con detalle desarrollos posteriores. (Cerca de la mitad del texto de dedicaba a estos asuntos.) Cuando se le preguntaba por la fisión misma, Bohr solía referirse a la bibliografía anterior a la guerra, en especial al famoso artículo que escribió con Wheeler.

Bohr, sin embargo, dio supuestamente una respuesta incorrecta al afirmar que ningún reactor de los Estados Unidos empleaba agua pesada como "moderador" para frenar los neutrones. En realidad, el reactor del laboratorio de Argonne, cerca de Chicago, sí usaba agua pesada, como se decía en el informe Smyth. No sabemos si este error menor es imputable a Bohr o a Terletskii.

Las preguntas de Terletskii relativas al diseño de la bomba merecen analizarse con atención. Cuando se le preguntó por el número de neutrones que emitían varios isótopos del uranio y del plutonio, Bohr se limitó a contestar "más de dos". Terletskii inquirió entonces: "¿Podría darme una cifra más exacta?", y Bohr respondió: "No, no puedo. ... El número exacto es irrelevante. ..." Pero la verdad es que la cantidad de uranio 235 o de plutonio necesaria para hacer una bomba tiene muchísimo que ver con el número de neutrones por fisión.

La segunda cuestión concerniente al diseño de la bomba se refería a la fisión espontánea, que, como ya hemos visto, revisite una importancia crucial a la hora de proyectar una bomba de plutonio. Pero no está claro si la pregunta de Terletskii se refería al diseño de bombas o al de reactores, y la respuesta de Bohr sólo era correcta para los reactores, en los que la fisión espontánea carece de relevancia. La última cuestión tenía que ver con la manera en que progresa la reacción en cadena cuando una explosión química comprime el material fisible. La respuesta de Bohr es un modelo de cómo decir algo ininteligible y que no viene a cuento.

Como Bohr no había participado en la separación de isótopos ni en el diseño de reactores durante el proyecto Manhattan, no estaba en condiciones de responder a las preguntas relacionadas con esos temas. Pero en el tiempo que pasó en Los Alamos, Feynman le instruyó sobre las reacciones en cadena de las bombas y participó en la elaboración del diseño de implosión. Si Bohr hubiese querido revelar informaciones vitales, estas cuestiones le habrían ofrecido la oportunidad de hacerlo. En cambio, a los soviéticos les dio respuestas parciales o incomprensibles que no explicaban nada.

En su respuesta a la pregunta de si era factible alguna defensa contra la bomba, Bohr se explotó sobre la necesidad de un control internacional, postura que mantenía coherentemente en público. Pero la que se supone fue su respuesta contiene, además, una afirmación absurda, que "el gran Oppenheimer se ha retirado en señal de protesta y ha dejado de trabajar en el proyecto". Si bien es verdad que J. Robert Oppenheimer abandonó Los Alamos para volver a Berkeley, también lo es que se con-

virtió en el asesor técnico más influyente de la administración Truman en política de armas nucleares.

Por si fuese poca la reserva con que debe tomarse cualquier documento firmado por Beria, la presunta frase de Bohr sobre Oppenheimer nos convence de que sus respuestas fueron "maquilladas" a medida que se acercaban al despacho de Stalin. Terletskii recuerda en sus memorias que el coronel de la policía secreta que estuvo a cargo de la misión de Copenhague le aleccionó acerca de cuál era la mejor forma de transmitir lo que había oído. A pesar de estos esfuerzos, a Beria le defraudaron los resultados, y cuando Terletskii le informó de las conversaciones con Bohr "perdió el control e interrumpió con obscenidades dirigidas contra Bohr y los norteamericanos".

Sin embargo, en el memorándum que mandó al zar rojo, Beria daba a entender que la misión de Terletskii había sido un éxito. Nos parece interesante que el memorándum no mencione nunca el informe Smyth, y se ve que no se contrastó con él. Beria y su gente sospecharían que un documento tan pormenorizado era una obra maestra de la desinformación. Por tanto, no podemos despreciar la afirmación de Terletskii de que Bohr, al aportar el informe Smyth, le dio una credibilidad de la que si no habría carecido.

Por mucho que Terletskii y otros que trabajasen para Beria alteraran las palabras de Bohr, la versión más autorizada del encuentro de que se dispone es el memorándum remitido a Stalin. El propósito de cualquier alteración habría sido exagerar la importancia de la información suministrada por Bohr. Pero en la transcripción el danés no aporta ningún dato de interés técnico o militar que no figure en el informe Smyth. En consecuencia, la acusación de que compartió secretos nucleares con los soviéticos queda refutada por la descripción que el propio Beria hizo del encuentro entre su agente y Bohr.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

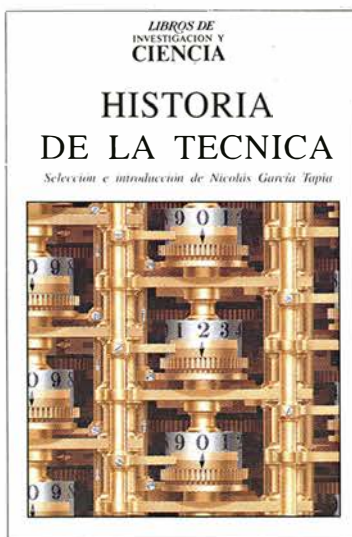
SPECIAL TASKS: THE MEMOIRS OF AN UNWANTED WITNESS: A SOVIET SPY-MASTER. Pavel y Anatoli Sudoplatov, con Jerrold L. y Leona P. Schecter. Little, Brown and Co., 1994.

STALIN AND THE BOMB. David Holloway. Yale University Press, 1994.

WERE THE ATOMIC SCIENTISTS SPIES? Thomas Powers en *New York Review of Books*, vol. 41, n.º 11, págs. 10-17; 9 de junio de 1994.

HISTORIA DE LA TECNICA

Selección e introducción de Nicolás García Tapia



Un volumen de 29 × 21.5 cm
y 128 páginas ampliamente
ilustradas

**LIBROS DE
INVESTIGACION Y
CIENCIA**

A pesar de su indudable interés para el progreso humano y la innegable influencia que la técnica ha ejercido sobre el devenir de la humanidad, la historia de la técnica, como disciplina académica, no ha recibido hasta ahora la atención que se merece. Surgida como materia de enseñanza en algunas universidades europeas hace relativamente poco tiempo, todavía no ocupa un rango adecuado en las enseñanzas universitarias, comparada con otras especialidades históricas como las económicas o las sociales. Tampoco ha recibido la debida atención dentro de los propios técnicos, quienes, como mucho, consideran a la historia de la técnica mero complemento cultural en su formación. En cuanto al público en general, su curiosidad se reduce a la de unos pocos inventos asociados generalmente a ciertos inventores famosos. Se ha hecho aquí una cuidada selección para abarcar los aspectos más significativos del desarrollo tecnológico, agrupados en diferentes épocas históricas, sin olvidar culturas distintas de la nuestra, como la de China y la de la América precolombina.



Prensa Científica, S.A.

¿Qué le contó Heisenberg a Bohr sobre la bomba atómica?

En 1941, Werner Heisenberg y Niels Bohr mantuvieron una entrevista a solas en Copenhague. Dos años después, Bohr enseñaba en Los Alamos un supuesto bosquejo de un arma nuclear ideada por Heisenberg

Jeremy Bernstein

A principios de septiembre de 1943, Niels Bohr se enteró de que la Gestapo de Copenhague se proponía arrestarlo. Pocas semanas después, el día 29, él, su esposa y unos cuantos más acudían, amparados por la obscuridad de la noche, a una playa de las afueras de Carlsberg, para huir de Dinamarca. Se embarcaron y cruzaron el Øresund, rumbo a Suecia. El 6 de octubre, volaba desde allí hacia Escocia. Ese mismo día se trasladó a Londres y, al caer la jornada, se reunía con sir John Anderson, el químico físico que estaba al cargo del incipiente proyecto británico de la bomba atómica. Anderson le puso al corriente del proyecto anglo-americano. Según su hijo Aage, que le siguió a Inglaterra una semana después y fue su ayudante durante la guerra, Bohr se quedó muy sorprendido —conmocionado sería un calificativo más apropiado— por lo lejos que había llegado ya el programa anglo-americano.

El sobresalto de Bohr se debió seguramente a una doble razón. La primera, su propia trayectoria teórica. Durante los años treinta, cuando la física nuclear se estaba desarrollando, había dicho y repetido que era de todo punto imposible que la energía nuclear tuviera aplicaciones prácticas. Opinión que se consolidó cuando descubrió, en la primavera de 1939, un aspecto notable de la fisión del uranio. En diciembre de 1938, Otto Hahn y Fritz Strassmann habían descubierto que el bombardeo del uranio con neutrones podía fisiónarlo. (Lise Meitner, que había sido ayudante de Hahn, y su sobrino Otto Frisch conjeturaron

que el núcleo de uranio había llegado realmente a escindirse en el experimento, y por eso acuñaron la palabra “fisión” para nombrar el proceso.) En el experimento se usó uranio natural, el 99 por ciento del cual está en la forma del isótopo 238. Unas siete décimas de tanto por ciento son del isótopo uranio 235, cuyo núcleo contiene tres neutrones menos.

Los isótopos no pueden distinguirse por medios químicos. Bohr halló que, a causa de las diferencias estructurales entre isótopos, sólo el rarísimo uranio 235 se había fisionado en los experimentos de Hahn y Strassmann. Así llegó a la conclusión de la imposibilidad práctica de fabricar un arma nuclear, operación que exigía la separación de tales isótopos, una tarea titánica. En diciembre de 1939 afirmaba en una conferencia: “Con los medios técnicos actuales resulta imposible purificar el isótopo de uranio raro en cantidad suficiente para producir la reacción en cadena.” Se entiende, pues, muy bien que a Bohr le impresionase oír, cuatro años después, que justo eso era lo que los aliados se proponían.

El segundo motivo del sobresalto de Bohr se remontaba a un encuentro que tuvo con Werner Heisenberg a mediados de septiembre de 1941, dos años antes de su huida de Copenhague. Los alemanes llevaban ya un año largo en Dinamarca. A lo largo de ese intervalo, las fuerzas de ocupación habían establecido en la capital el Instituto Cultural Alemán, con el objeto de convertirlo en foco de irradiación propagandística del Tercer Reich. Entre sus actividades, el instituto organizaba reuniones científicas. Heisenberg fue uno de los varios expertos alemanes que acudieron a Copenhague bajo sus auspicios, en su caso a una reunión de astrónomos. Conocía a Bohr desde 1922.

Había pasado bastante tiempo en el instituto que éste había fundado en Copenhague; allí, Bohr había sido algo así como la musa que inspiró la creación de la teoría cuántica. Heisenberg volvía ahora como representante de una odiada fuerza de ocupación, y cantaba, según algunos testimonios, a los cuatro vientos la convicción de su victoria.

Heisenberg pasó una semana en Copenhague y visitó el instituto de Bohr en varias ocasiones. En una de esas visitas, habló con su viejo maestro en privado. No parece que ninguno de los dos tomase notas, así que no podemos estar seguros de qué se dijeron. Además, Bohr no sabía escuchar y parece verosímil que la velada fuera un diálogo de sordos. De cualquier modo, Bohr salió con la impresión clara de que Heisenberg estaba trabajando sobre armas nucleares. Aage Bohr lo recordaría más tarde: “Heisenberg sacó la cuestión de la aplicación militar de la energía atómica. Mi padre tenía muchas reservas al respecto y expresó su escepticismo, debido a las grandes dificultades técnicas que había que superar, pero tuvo la impresión de que Heisenberg creía que las nuevas posibilidades decidirían el resultado de la guerra si ésta se prolongaba.”

Dos años después, Bohr se enteraba de que los aliados tenían un programa de armas nucleares. ¿Qué no habrían hecho los alemanes durante esos dos años? No es extraño que Bohr se alarmase.

Sería apasionante saber con detalle qué quería decir eso de “nuevas posibilidades”. Pero tenemos pistas para adivinarlo. En los años cuarenta los físicos de las dos partes del conflicto repararon en que, aparte de la fisión del uranio, había otra vía que desembocaba también en la consecución

JEREMY BERNSTEIN enseña física en el Instituto Stevens de Tecnología y en la Universidad Rockefeller.



1. WERNER HEISENBERG Y NIELS BOHR, a los que aquí se ve en una fotografía de 1936, tuvieron un curioso encuentro cinco años más tarde. Algunos conjeturan que los dos físicos —por entonces en bandos opuestos de la guerra— hablaron de las armas nucleares. Cuando Bohr llegó al laboratorio de Los Alamos a finales de 1943, se dice que tenía el bosquejo de un proyecto de bomba nuclear —eso creía él— ideado por Heisenberg. Si fue así, el dibujo debió de parecerse, con toda seguridad, al diseño de reactor que se muestra a la derecha.

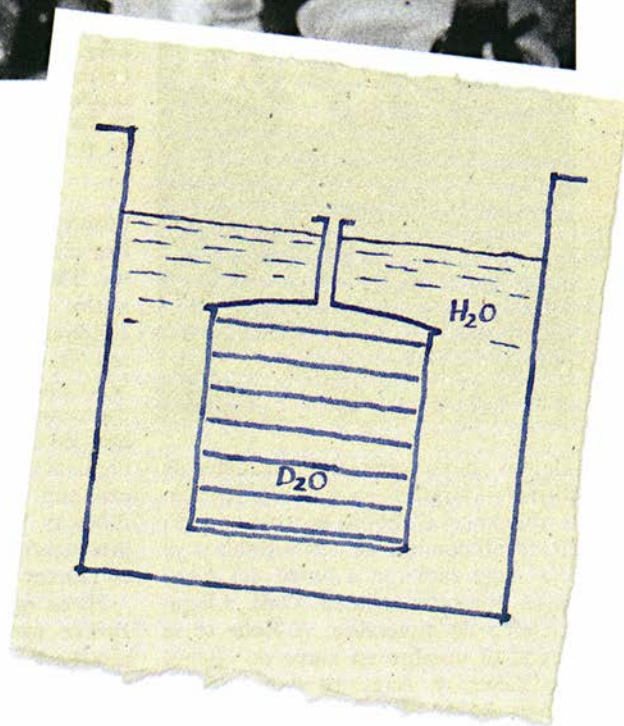
del arma nuclear: utilizar lo que más tarde vendría a llamarse plutonio. Este elemento, algo más pesado que el uranio, posee propiedades químicas diferentes; ahora bien, gracias a su estructura nuclear es, por lo menos, tan fisible como el uranio. No existe, sin embargo, en la naturaleza y hay que fabricarlo en un reactor nuclear mediante el bombardeo, con neutrones, de las varillas de combustible de uranio del reactor. Una vez conseguido, se puede separar, por medios químicos, el plutonio del uranio del que procede.

Desde el momento en que se conoció este proceso, todos los reactores se convirtieron, en cierto sentido, en componentes de un arma nuclear. Heisenberg lo sabía cuando visitó a Bohr. Hasta disertó sobre ello —los textos se han conservado— ante altos cargos alemanes. ¿Era eso lo que intentaba decirle a Bohr? Y si fue así, ¿por qué?

Este magno rompecabezas tiene por corolario otro menor. Hay razones para creer que en el encuentro de Copenhague Heisenberg le dio a Bohr un dibujo. No está claro si Heisenberg hizo el dibujo durante la reu-

nión o lo traía ya. A tenor de la forma de proceder de los físicos, supongo que garabatearía el dibujo sobre la marcha para transmitir mejor su idea. En cualquier caso, en unas circunstancias que describiré enseguida, este dibujo, o una copia, llegó al laboratorio de Los Alamos en diciembre de 1943, donde causó un revuelo considerable: daba la impresión de que contenía información directa de la manera en que los alemanes planeaban construir armas nucleares. Antes de que cuente cómo llegó el dibujo a Los Alamos, déjenme que les explique cómo me enteré de su existencia. Una cosa tiene que ver con la otra.

En noviembre de 1977 comencé una serie de entrevistas con Hans Bethe. Estas sesiones duraron, intermitentemente, dos años, y de ellas salieron las tres partes de un retrato del personaje para la revista *New Yorker* y un libro que se publicó a continuación. Las entrevistas, que gra-

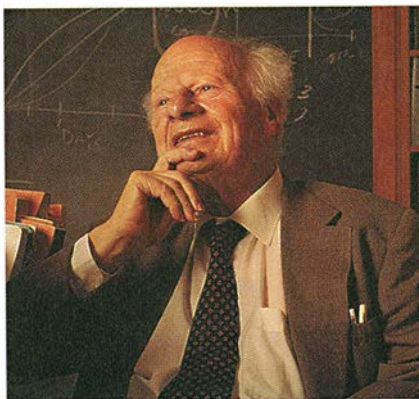


bé en cinta, seguían la vida de Bethe por orden cronológico. Bethe nació en Estrasburgo en 1906 y emigró a los Estados Unidos en 1935, donde ha permanecido desde entonces, en la Universidad de Cornell. Adquirió la ciudadanía norteamericana en 1941; en ese momento, recuerda, estaba “desesperado por hacer algo por arrimar el hombro en la guerra”. Lo mismo que Bohr, no creía que hubiera posibilidad práctica alguna de fabricar armas nucleares, y se dedicó a trabajar en el desarrollo del radar en el Instituto de Tecnología de Massachusetts.

En el verano de 1942, J. Robert Oppenheimer promovió la integración de un grupo de estudio en la Universidad de California en Berkeley para investigar las armas nucleares. Bethe pasaba entonces por ser uno de los teóricos nucleares más sólidos del mundo. Oppenheimer le invitó a colaborar. De camino a California en tren, Bethe se detuvo en Chicago para recoger a Edward Teller. Allí tuvo la oportunidad de contemplar el reactor nuclear de Enrico Fermi, todavía en fase de desarrollo. “Se convenció —confesará— de que el proyecto de la bomba atómica iba en serio y de que seguramente funcionaría.” Consagró el verano al estudio de la teoría de armas nucleares, y en abril de 1943 fue a Los

“Estoy completamente seguro de que hubo un dibujo... me produjo una gran impresión.”

—Bethe



2. HANS BETHE recuerda con claridad que vio en Los Alamos, en 1943, un dibujo esquemático atribuido a Heisenberg. El año pasado le escribió al autor acerca de este recuerdo (*derecha*). A la izquierda, Bethe aparece sentado delante de Enrico Fermi, quien diseñó en Chicago el primer reactor operativo.



Alamos, cuyo laboratorio acababa de abrirse. Dirigiría su división teórica.

Volvamos al dibujo en cuestión. El 29 de noviembre de 1943 Bohr y su hijo Aage zarparon a bordo del *Aquitania*, rumbo a Nueva York. Llegaron el 6 de diciembre. A Bohr se le asignó el nombre en clave de Nicholas Baker, y Aage se convirtió en James Baker. El 28 de diciembre, tras haber celebrado varias reuniones de alto nivel —entre ellas, con el general de división Leslie R. Groves, militar al frente del proyecto Manhattan—, Bohr partió hacia Los Alamos. El día 31, se supone que nada más pisar el laboratorio, se reunió con un grupo selecto de físicos. El propósito principal de esta reunión era que Bohr comentase lo que sabía de los progresos alemanes en armas nucleares, en concreto qué le había transmitido Heisenberg.

Durante una de mis entrevistas con Bethe, éste me habló del dibujo: “Heisenberg le dio a Bohr un esquema. El dibujo nos lo pasó Bohr a

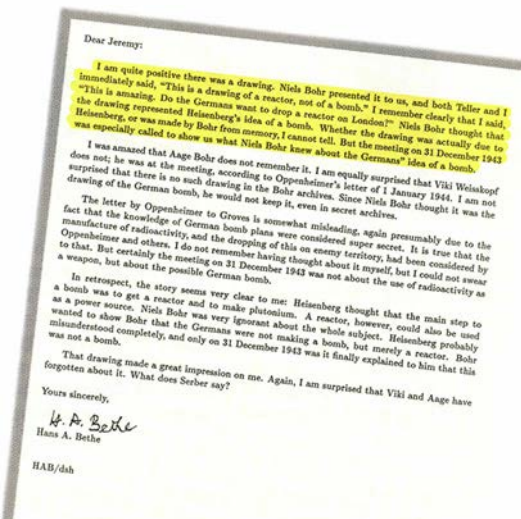
nosotros más tarde, en Los Alamos. Era claramente el dibujo de un reactor. Pero nuestra conclusión fue, al verlo, que esos alemanes estaban completamente locos: ¿Es que quieren tirar un reactor sobre Londres?” Sólo una vez terminada la guerra se enteraron los científicos de Los Alamos de que los alemanes sabían muy bien, al menos en principio, qué hacer con un reactor: utilizarlo para fabricar plutonio. Pero a Bohr le preocupaba que alguien pudiese usar el reactor como un arma.

Hasta que lo señalé en el *New Yorker* nadie había mencionado por escrito el tal dibujo. En realidad, mi artículo sobre Bethe se cita con frecuencia como fuente de este curioso episodio marginal de la relación entre Bohr y Heisenberg. Me vi, pues, convertido en una especie de pie de nota de un pie de nota de la historia. Pero mi autoridad se vio amenazada a principios de 1994. Abraham Pais, biógrafo tanto de Einstein como de Bohr y profesor emérito de física de la Universidad Rockefeller, me llamó a su despacho. Hacía cuarenta años que conocía a Pais, pero no le había visto últimamente. Me habló de una llamada que había recibido unos cuantos meses antes.

La hizo Thomas Powers, que por entonces estaba escribiendo *Heisenberg's War*. Powers conocía el dibujo

por mi libro sobre Bethe. Le chocó que pareciese que Heisenberg le había dado a Bohr, en plena guerra, un dibujo de un proyecto militar alemán secretísimo. Era tan impensable que Heisenberg hiciera algo así, que Powers quiso comprobar el asunto. Se puso en contacto con Aage Bohr en Copenhague (su padre murió en 1962). En una carta fechada el 16 de noviembre de 1989, Aage había escrito: “Heisenberg no esbozó ningún reactor durante su visita de 1941. No se habló en absoluto del funcionamiento de un reactor.”

Sorprendido, Powers se puso en contacto con Bethe, quien le repitió lo mismo que me había dicho a mí hacía diez años. Perplejo, llamó a Pais, y ahora Pais me preguntaba a



mí. Pero Pais había investigado por su cuenta. Había hablado con Aage, y éste insistió de nuevo en que nunca había habido semejante dibujo. Buscó también en los archivos de Copenhague donde se guardan todos los papeles privados y diarios de Bohr. En ninguna parte, me dijo, había encontrado la menor mención del dibujo.

Le prometí a Pais que yo mismo indagaría el asunto, pero la verdad era que, al salir de su despacho, no tenía ni la más vaga idea de qué iba a hacer. Ponerme en contacto con Bethe otra vez no me serviría de mucho. Nada podía ser más directo que lo que me había dicho a mí y repetido a Powers. Necesitaba otros testigos. Pero ¿quiénes? Oppenheimer había muerto. Niels Bohr había muerto. Groves había muerto. ¿Quién más podría haber visto ese dibujo?

En realidad, empecé con menos información que la que le he dado hasta aquí al lector. Todo lo que Bethe me dijo fue que Bohr había “transmitido” un dibujo a Los Alamos.

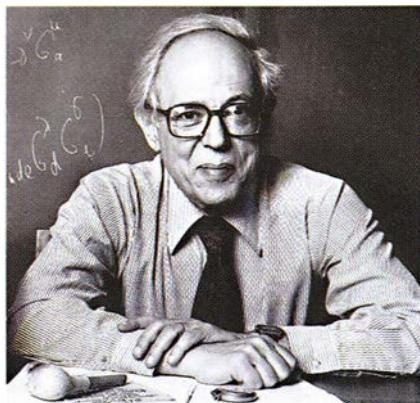
No contó ningún detalle concreto de la reunión del 31 de diciembre; al principio, pues, no tenía ni idea de quién podría haber estado allí; la verdad es que ni siquiera tenía la fecha concreta. Todo eso lo supe después. Pero conocía a algunos físicos que habían estado por entonces en Los Alamos y que podrían haber visto el dibujo o haber oído hablar de él. Dos se me pasaron por las mientes. Uno era Victor Weisskopf, que había colaborado con Oppenheimer.

El otro era Rudolf Peierls. Peierls y Otto Frisch lograron en marzo de 1940 el primer cálculo correcto —en principio— de la cantidad de uranio 235, o la masa crítica, necesaria para hacer una bomba. (Que esa masa resultase ser de sólo unos kilos y no



“[Nada] ha cambiado la serena y firme opinión de Aage: nunca hubo un dibujo.”

—Pais



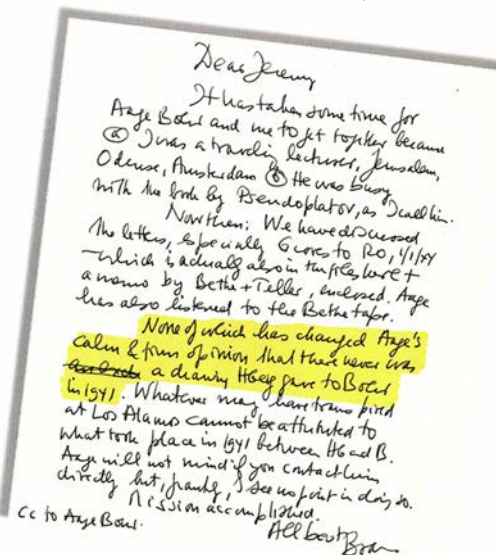
3. ABRAHAM PAIS le preguntó a Aage Bohr, uno de los hijos de Niels Bohr, si Heisenberg le había dado a su padre un dibujo en 1941. Aage Bohr (a la izquierda) estaba al tanto de las actividades de su padre; fue su ayudante durante la guerra. Pais le escribió al autor el verano pasado (derecha) que Aage Bohr estaba seguro de que Heisenberg no hizo ningún dibujo para su padre.

Robert Serber, profesor emérito de física de la Universidad de Columbia. Tras recibir el doctorado en 1934 en la de Wisconsin, empezó a trabajar con Oppenheimer en Berkeley. Tras un breve intermedio en la Universidad de Illinois, de 1938 a 1942, volvió a Berkeley para trabajar en la bomba con Oppenheimer. Estaba allí en el verano de 1942, cuando Bethe y Teller llegaron. En marzo de 1943 se trasladó, con la primera remesa de científicos, a Los Alamos. Una de sus primeras tareas fue dar una serie de clases de introducción a la física de la bomba. Estas lecciones se recogieron en lo que vino a llamarse *The Los Alamos Primer*, materia reservada hasta 1965 y publicado en su integridad en 1992.

En Serber hallé una mina de oro. No sólo se acordaba del dibujo vívidamente, sino que también recordaba las circunstancias precisas en las que lo había visto. El 31 de diciembre se le llamó al despacho de Oppenheimer, donde se estaba celebrando una reunión. Oppenheimer le enseñó un dibujo sin más explicaciones y le pidió que le dijese qué era. A Oppenheimer le gustaban ese tipo de juegos intelectuales. Serber lo miró, y afirmó rotundo que se trata-

ba de un reactor. Oppenheimer le contestó que, en efecto, era el dibujo de un reactor y que se lo había dado Bohr al grupo allí reunido. Bohr, que estaba, recuerda Serber, de pie junto a Oppenheimer, no disintió.

Eso es lo que Serber me contó. Pero me dijo también que tenía material escrito relacionado con aquella reunión. Recibí las copias de dos documentos: una carta de Oppenheimer al general Groves enviada el día siguiente a la reunión y un memorándum de dos páginas escrito por Bethe y Teller sobre la capacidad explosiva del reactor. Por desgracia, aunque eran muy sugestivos, no zanjaban el asunto por completo, o al menos no me lo pareció la primera vez que los leí. El memorándum de Bethe y Tel-



de varias toneladas es lo que de verdad puso en marcha la empresa aliada.) Peierls, con Frisch, estuvo en Los Alamos hasta principios de 1944. Conozco a Peierls desde hace muchos años y he repasado con él la historia de las armas nucleares. Le escribiría. Me contestaron los dos.

Peierls respondió que no había visto nunca el “famoso bosquejo”, pero no creía que Bethe o Aage Bohr mintiesen. Suponía que Niels quizás evitó que su familia conociera un documento tan delicado o que Heisenberg sólo le hubiese enseñado el bosquejo a Bohr, quien lo habría vuelto a dibujar más tarde. Me sugirió que le preguntase a Bethe por esta posibilidad. Weisskopf también me propuso que hablase otra vez con Bethe, pues tampoco él había visto el dibujo u oído hablar de él.

Estaba claro que tenía que escribir a Bethe para contarle lo que había sabido y ver si él podría arrojar más luz sobre la situación. Pero entonces me vino una inspiración. Llamaría a

ler contenía pistas significativas. La carta de Oppenheimer no mencionaba el dibujo, ni a Heisenberg ni a los alemanes. Pero la última frase daba claramente a entender que Bohr le había hablado a Groves en Washington de esos asuntos. Puede que haya algo esclarecedor en los archivos de Groves.

Mientras tanto, le había escrito a Bethe. Me contestó: “Estoy completamente seguro de que hubo un dibujo. Bohr nos lo enseñó, y tanto Teller como yo dijimos inmediatamente: ‘Eso es el dibujo de un reactor, no de una bomba.’ ... Si el dibujo era de verdad de Heisenberg o si lo hizo de memoria Bohr, no puedo decirlo. Pero la reunión del 31 de diciembre de 1943 se convocó especialmente para enseñarnos lo que Niels Bohr sabía de las ideas de los alemanes acerca de la bomba.”

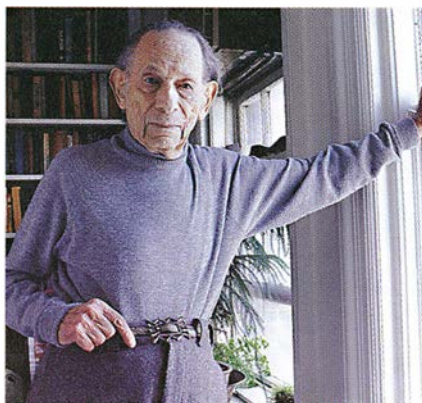
Bethe ofrecía una teoría para explicar el misterio: “Heisenberg pensaba que el paso principal hacia la bomba era conseguir un reactor y

fabricar plutonio. Un reactor, sin embargo, también podía usarse como fuente de energía. Niels Bohr era muy ignorante en estas materias. Heisenberg quiso, seguramente, mostrarle a Bohr que los alemanes no estaban haciendo una bomba, sino un reactor. Bohr lo entendió todo al revés, y sólo el 31 de diciembre de 1943 se le explicó por fin que eso no era una bomba. Ese dibujo me produjo una gran impresión. Y me vuelve a sorprender que Viki [Weisskopf] y Aage lo hayan olvidado. ¿Qué dice Serber?"

Ya podía escribirle a Bethe y contarle lo que Serber había dicho. Escribí también a Teller pidiéndole que contara lo que recordase de la reunión. No me contestó. Pero le escribí

"...el [dispositivo] que sugiere... Baker sería totalmente inútil como arma militar."

—Oppenheimer



4. ROBERT SERBER no sólo recordaba que vio un dibujo el 31 de diciembre de 1943, sino que guardaba además varios documentos reveladores. Hizo llegar al autor una carta (*derecha*) de J. Robert Oppenheimer al general de división Leslie R. Groves (*se les ve a ambos a la izquierda*). En ella, Oppenheimer le aseguraba a Groves que la "manera de disponer los materiales" que Baker (el nombre en clave de Bohr) había descrito no serviría para un arma.

vase consigo a los Estados Unidos un dibujo procedente de la reunión con Heisenberg de 1941, y la discusión de Los Alamos a la que usted se refiere no tiene nada que ver en absoluto con la reunión de 1941."

Me encontraba desconcertado. Hasta que, al mirar otra vez el memorándum que Bethe y Teller les prepararon a Oppenheimer y a Bohr, y en última instancia a Groves, me saltó de pronto a la vista la huella, manifiesta como un dolor de muelas, de Heisenberg en la primera frase del segundo párrafo del informe. Dice: "La pila [reactor] propuesta está formada por unas láminas de uranio inmersas en agua pesada." En otras palabras, Bethe y Teller no estaban considerando algún viejo diseño de reactor, sino uno muy particular que Bohr les había descrito. Ese diseño es, en realidad, el del reactor defectuoso que Heisenberg ideó a finales de 1939 y principios de 1940, y al que permaneció fiel ¡casi hasta el final de la guerra!

No cabe imaginar que Bohr, en las pocas semanas transcurridas entre el momento en que se enteró del proyecto de los aliados y el día en que

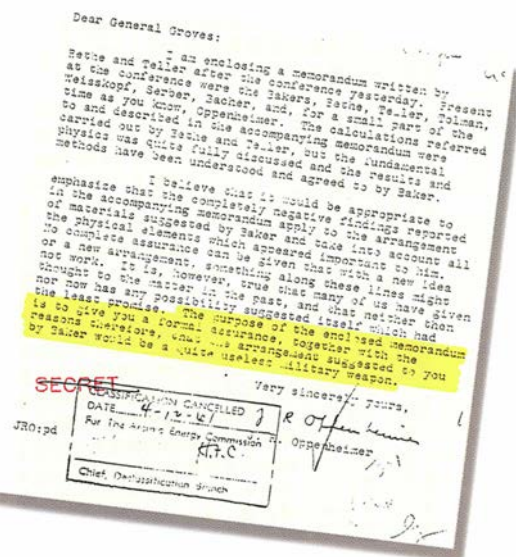
llegó a Los Alamos, crease un diseño propio que presentaba los mismos fallos que el de Heisenberg. Tuvo que sacar la idea de éste, bien fuese verbalmente, bien gracias a un dibujo. ¿De qué otra parte podría haber salido si no?

Me explicaré. Todo reactor requiere elementos combustibles —el uranio— y un moderador, un dispositivo que amortigua la velocidad de los neutrones que dan en el combustible. Los neutrones que se mueven a una velocidad cercana a la del sonido son muchísimo más eficaces en causar la fisión que los neutrones rápidos que la propia fisión genera. Los elementos combustibles del reactor, pues, han de estar inmersos en el moderador. Pero el ingeniero debe



otra vez a Weisskopf y le envié unas copias de los memorándums de Serber. El 23 de febrero recibí una carta de Weisskopf en la que reconocía que vio el bosquejo pero que luego lo olvidó.

Ya tenía, pensaba, material suficiente para visitar otra vez a Pais. Le puse la cinta en la que había grabado a Bethe y le di copias de todos los documentos. Estaba él a punto de volver a Copenhague, donde pasa alrededor de la mitad del año con su esposa danesa. Me prometió que hablaría con Aage. Lo hizo a finales de junio. El día treinta me escribió contándome qué había ocurrido. Pais y Aage Bohr se habían visto, comentaron las cartas y revisaron las cintas. Aage Bohr seguía estando seguro de que Heisenberg no le dio nunca ese dibujo a su padre. Así que escribí a Aage directamente. En febrero de este año su ayudante, Finn Aaserud, me notificaba: "Aage Bohr mantiene que es de todo punto imposible que Bohr lle-



saber escoger el material con el que se preparará el moderador y la manera en que se dispongan los elementos combustibles dentro del mismo. Lo último requiere ciencia y maña a la vez.

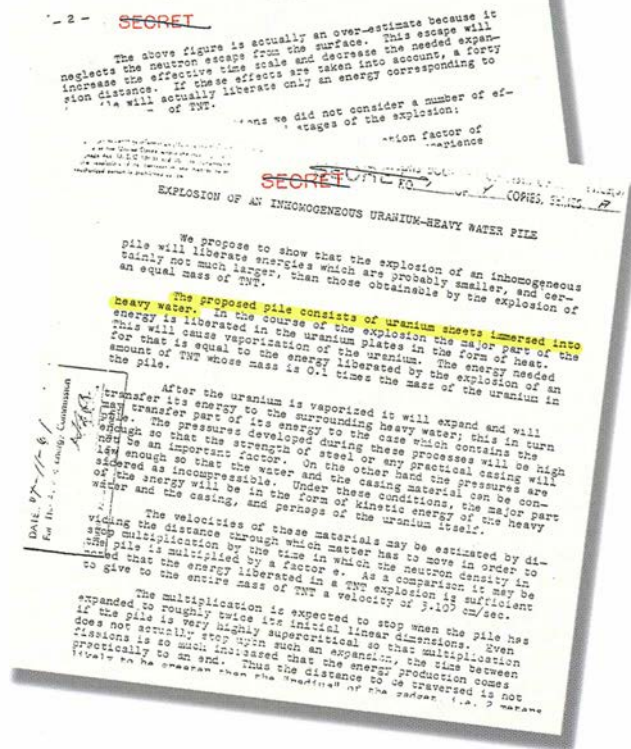
El uranio puede absorber neutrones sin que se produzca la fisión. Esa absorción se hará más intensa cuanto más se reduzca la velocidad de los neutrones. Si no se ha pensado bien la geometría de los elementos combustibles, el uranio absorberá tantos neutrones que jamás se producirá una reacción nuclear en cadena. El diseño más eficiente es el que, dentro del moderador, inserta en una retícula porciones de uranio separadas. El tamaño de esas porciones y la manera concreta en que se las disponga son cosa de maña. Pero no hay solución peor que poner el uranio en láminas o capas.

Fijémonos en lo que Bethe y Teller habían escrito: "La pila propuesta está formada por unas láminas de uranio." Heisenberg eligió precisa-

mente ese diseño porque con él los cálculos a realizar resultaban más fáciles que con cualquier otro. A continuación viene el asunto del moderador. Bethe y Teller decían que las láminas habían de estar “inmersas en agua pesada.” Esta especificación, una vez explicada, también lleva escrita encima “Heisenberg” de cabo a rabo. El papel del moderador, como ya he dicho, consiste en frenar los neutrones procedentes de las fisiones. Los materiales idóneos para ello son los más ligeros porque la colisión de un neutrón con un objeto que tenga una masa parecida a la suya es la que causa mayor pérdida de energía. Si el neutrón choca con un objeto más pesado rebota y su dirección pasa a ser otra, pero su velocidad no cambia.

Si sólo hubiese que tener en cuenta la masa, el moderador ideal sería el hidrógeno, cuyo núcleo es un solo protón de masa muy similar a la del neutrón. Pero el hidrógeno no sirve como moderador, porque absorbe neutrones. En cambio, el “hidrógeno pesado”, cuyo núcleo tiene un neutrón extra, no los absorbe. El hidrógeno pesado se encuentra en el “agua pesada”. Pero en el agua del mar, por ejemplo, esa agua pesada es sólo una parte en 5000. Para usarla como moderador había que separarla del agua ordinaria, proceso caro y difícil.

El carbono, por otra parte, es abundante y barato, aunque menos eficaz como moderador. A finales de 1940 Heisenberg había llegado a la conclusión de que debían emplearse, como moderadores, el carbono y el hidrógeno pesado. Pero en enero de 1941 Walther Bothe, el físico nuclear experimental más destacado que quedaba en Alemania, se puso a trabajar con el grafito. Sus experimentos parecían mostrar que el grafito absorbía los neutrones con demasiada intensidad para que pudiera ser un moderador eficiente. Bothe no se dio cuenta de que, a no ser que el grafito se purifique mucho más de lo que industrialmente se requiere, contiene impurezas de boro, elemento que chupa los neutrones como una esponja. Una parte de boro en 500.000 de grafito puede arruinar la función moderadora de éste. No obstante, el experimento de Bothe hizo que Hei-



5. EL MEMORANDUM de Bethe y Edward Teller aborda la capacidad explosiva del reactor nuclear que Bohr les describió al llegar a Los Alamos. El documento no menciona a Heisenberg, pero el diseño que analiza coincide con el ideado por el alemán en 1939 y al que se mantuvo fiel durante toda la guerra.

senberg y otros físicos alemanes decidieran que el agua pesada era la única elección práctica.

Los físicos responsables del programa estadounidense para la construcción de un reactor, que sí tuvo éxito, realizaron el mismo tipo de cálculos. Como Heisenberg, concluyeron que un reactor de carbono necesitaría más uranio natural que el de agua pesada. Fermi y Leo Szilard habían hecho también experimentos sobre la absorción de neutrones por el carbono. Pero Szilard era un fanático de la pureza del grafito, y el suyo, al contrario que el de Bothe, fue un buen moderador. Como el carbono era tan barato en comparación con el agua pesada, decidieron que no había moderador mejor. El reactor de Fermi, que funcionó por vez primera el 2 de diciembre de 1942, tenía un retículo de porciones de uranio inmerso en el carbono. Todos los reactores experimentales alemanes —ninguno de los cuales funcionó jamás— utilizaban moderadores de agua pesada. Leamos otra vez la frase del memorándum de Bethe y Teller: “La pila propuesta está formada por láminas de uranio inmersas en agua pesada.” Es como si alguien hubiese estampado “made in Germany” encima de este diseño.

Atando todos los cabos, parece que

hay pocas dudas de que Heisenberg intentó describirle un dispositivo nuclear a Bohr, su versión del reactor. Puede que le diese a Bohr un dibujo o puede que no, pero está claro que éste guardó un recuerdo visual del diseño. Sin embargo, en esos momentos no comprendía la diferencia entre un reactor y una bomba, y dio por sentado que Heisenberg le había descrito una bomba.

Por tanto, puede que Aage Bohr tenga toda la razón cuando dice que, por lo que toca a su padre, no se habló nunca de un reactor. Puede también que tenga razón al decir que Heisenberg nunca le dio un dibujo a Bohr. Ninguna de las personas con las que he hablado está segura de que el dibujo que vieron hubiera sido trazado por el propio Heisenberg; sólo lo están de que era un dibujo del reactor que éste había concebido. Creo que así se resuelve el rompecabezas, pero no se desvela el mis-

terio. Para empezar, ¿cuál era el propósito de la visita de Heisenberg? Quería, sostienen quienes admiran a Heisenberg, que Bohr supiese que los alemanes sólo trabajaban en un reactor “pacífico”.

Hay que advertir también que Heisenberg sabía muy bien cuando visitó a Bohr que los reactores sólo podían usarse para producir plutonio y que el plutonio servía como combustible de una bomba nuclear. Entonces, ¿por qué visitó a Bohr? ¿Qué mensaje quería que le llegase? ¿Intentó convencer a Bohr de que participase o de que no participase? ¿Qué quería saber? Este es el verdadero misterio. Quizá no lo podremos desvelar nunca.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- HANS BETHE: PROPHET OF ENERGY. Jeremy Bernstein. Basic Books, 1980.
- NIELS BOHR'S TIMES: IN PHYSICS, PHILOSOPHY AND POLITY. Abraham Pais. Oxford University Press, 1991.
- THE LOS ALAMOS PRIMER: THE FIRST LECTURES ON HOW TO BUILD AN ATOMIC BOMB. Robert Serber. Dirigido por Richard Rhodes. University of California Press, 1992.
- HEISENBERG'S WAR: THE SECRET HISTORY OF THE GERMAN BOMB. Thomas Powers. Alfred A. Knopf, 1993.